

PROCEDE ET DISPOSITIF DE TRANSMISSION DE PUISSANCE POUR  
UN VEHICULE AUTOMOBILE COMPRENANT UN MOTEUR THERMIQUE  
ET AU MOINS UNE MACHINE ELECTRIQUE .

L'invention concerne le domaine des véhicules automobiles dont la propulsion est assurée par un moteur thermique et au moins une machine électrique.

5 Lors des ralentissements du véhicule, son énergie cinétique est normalement perdue.

C'est pourquoi, on prévoit parfois des moyens pour récupérer cette énergie et la stocker en vue d'une utilisation ultérieure. Ceci permet de réduire la consommation globale de carburant.

Ainsi, une telle machine électrique est classiquement reliée à une 10 batterie, destinée à fournir de l'énergie à cette machine électrique ou à stocker de l'énergie provenant de cette même machine.

Par ailleurs, on sait qu'un moteur thermique présente un mauvais rendement à des puissances faibles.

La consommation au ralenti d'un moteur thermique est donc 15 importante.

C'est pourquoi, lorsqu'un véhicule hybride fonctionne au ralenti, le moteur thermique est généralement arrêté. La propulsion du véhicule est assurée par la machine électrique, la batterie étant alors la seule source d'énergie.

20 Cependant, une batterie présente de nombreux inconvénients. Son coût est important par rapport au coût global du véhicule et sa durée de vie est relativement faible. Enfin, elle est lourde et encombrante.

L'invention a pour but de pallier les inconvénients liés à la présence d'une batterie, tout en permettant la récupération de l'énergie cinétique du 25 véhicule et en évitant l'utilisation du moteur thermique à des puissances faibles.

Ainsi, l'invention concerne un procédé de transmission de puissance aux roues d'un véhicule automobile, comprenant un moteur thermique et au moins une machine électrique associée à un convertisseur statique d'énergie et à des moyens d'alimentation et de stockage d'énergie, le procédé 5 consistant à récupérer et à stocker l'énergie cinétique du véhicule dans des moyens d'alimentation et de stockage constitués par une supercapacité et à réutiliser l'énergie stockée pour fournir de la puissance aux roues lorsque la vitesse du véhicule est stabilisée, le moteur thermique étant alors arrêté.

La supercapacité est le seul moyen d'alimentation et de stockage 10 d'énergie prévu dans le véhicule. En particulier, aucune batterie n'est prévue.

De façon préférée, la vitesse stabilisée à laquelle la puissance fournie aux roues provient de la supercapacité est inférieure ou égale à environ 50 km/h ou encore, inférieure ou égale à environ 30 km/h.

La supercapacité est typiquement d'environ 50 KJ pour un véhicule 15 de gamme moyenne.

La puissance à transmettre aux roues est comprise entre 5 et 6 KW pour une vitesse stabilisée à environ 50 km/h et d'environ 3 KW pour une vitesse stabilisée à environ 30 km/h. A ces vitesses stabilisées, la présence de la supercapacité permet donc d'arrêter le moteur thermique pendant 10 à 20 secondes.

En effet, la consommation d'un moteur thermique (conso) est une fonction affine de la puissance délivrée par le moteur (Pmth), dans le cas où le moteur thermique fonctionne à son point de fonctionnement optimal, ce qui est généralement le cas pour des véhicules hybrides.

25 Ainsi, lorsque le moteur est allumé:

$$(1) \text{conso} = \text{conso}_0 + K \cdot \text{Pmth}$$

où : conso est la consommation instantanée du moteur thermique, exprimée en l/s

30 conso<sub>0</sub> est la consommation du moteur au ralenti, lorsque la puissance délivrée est nulle ; c'est une constante exprimée en l/s qui ne dépend que du moteur thermique,

K est une également une constante qui ne dépend que du moteur thermique et,

Pmth est la puissance délivrée par le moteur thermique, exprimée en kw.

5 La consommation du moteur thermique est nulle lorsque le moteur thermique est éteint.

La consommation sur un cycle de mesure de consommation (par exemple le cycle européen 99100) est alors :

$$(2) \text{Conso} = \text{conso}_0 \cdot \text{Ton mth} + K \cdot \text{Emth}$$

10 où : Conso est la consommation du moteur thermique sur le cycle considéré, exprimée en l,

conso<sub>0</sub> est la consommation du moteur au ralenti, exprimé en l/s,

Ton mth est le temps durant lequel le moteur thermique a été allumé au cours du cycle, exprimé en s,

15 Emth est l'énergie du moteur thermique, exprimée en kJ.

Le véhicule disposant d'un moyen de stockage intermédiaire d'énergie, la puissance instantanée du moteur thermique n'est pas forcément égale à la puissance instantanée à la roue. Par contre, la mesure de la consommation du véhicule sur un cycle entier se fait à bilan énergétique moyen nul sur ce stockage d'énergie. Par conséquent :

$$\text{Emth (kJ)} = \text{Energie roue (kJ)}$$

Il en résulte que l'équation (2) peut également s'écrire :

$$(3) \text{Conso} = \text{conso}_0 \cdot \text{Ton mth} + K \cdot \text{Energie roue}$$

Le but est de minimiser la consommation du moteur thermique.

25 Or, conso<sub>0</sub> et K sont des constantes et Energie roue (kJ) est imposée par le cycle et ne dépend guère de la stratégie de stockage d'énergie choisie.

Il convient donc de minimiser Ton mth.

30 Comme cela est connu, on peut éteindre le moteur thermique lorsque le véhicule est arrêté et/ou lors des décélérations.

L'invention propose de l'arrêter également aux autres périodes où la puissance à la roue est faible, c'est-à-dire lors des fonctionnements à vitesse stabilisée. La durée de ces périodes étant de l'ordre de 10 à 20 secondes, la capacité de stockage en énergie d'une supercapacité est particulièrement 5 bien adaptée.

Le procédé selon l'invention permet donc de réduire la consommation de carburant, grâce à l'utilisation d'une supercapacité.

De façon générale, une supercapacité permet de récupérer moins d'énergie qu'une batterie classique.

10 Par exemple, pour un cycle 99100, l'énergie récupérée représente environ 70% de l'énergie récupérée par une batterie classique.

Cependant, ceci n'est pas très pénalisant, surtout lors d'une utilisation du véhicule en ville où la vitesse est généralement inférieure à 50 km/h.

15 Par ailleurs, une supercapacité comporte des avantages considérables par rapport à une batterie, en terme de coût, d'encombrement et de durée de vie.

De façon avantageuse, le procédé selon l'invention consiste également à réguler la tension aux bornes du convertisseur statique 20 d'énergie pour la maintenir sensiblement constante et proche de la valeur maximale admissible par les semi-conducteurs de puissance du convertisseur statique d'énergie.

Cette régulation de la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie permet, en la maintenant la plus haute possible, de diminuer le 25 courant circulant dans la machine électrique et les semi-conducteurs de puissance.

Le dimensionnement des semi-conducteurs et donc leur coût peuvent ainsi être réduits en conséquence.

En pratique, la valeur retenue pour effectuer la régulation peut-être 30 une valeur de référence  $U_{ref}$  égale à :

$$U_{ref} = \text{MIN} [ (U_1 - \lambda \cdot I); \text{MAX}(U_2; (U_3/k)) ]$$

Où :  $U_1$  est la tension de tenue des semi-conducteurs de puissance  
λ.I est la surtension aux bornes des semi-conducteurs de puissance, I étant le courant circulant dans la machine électrique,  
U<sub>2</sub> est la différence entre  $U_1$  et la surtension maximale aux 5 bornes des semi-conducteurs,  
 $U_3$  est la tension aux bornes de la machine électrique et  
k est un coefficient constant dénommé coefficient de MLI (Modulation de Largeur d'Impulsions) .

On peut également choisir d'effectuer la régulation entre deux 10 valeurs limites, la première correspondant à U<sub>2</sub> et la deuxième correspondant à (U<sub>1</sub>-λ.I).

Cette régulation peut encore être simplifiée en maintenant la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie à U<sub>2</sub>.

L'invention concerne également un dispositif de transmission de 15 puissance aux roues d'un véhicule automobile permettant de mettre en œuvre ce procédé.

Ce dispositif comprend donc un moteur thermique et au moins une machine électrique, associée à un convertisseur statique d'énergie et à des moyens d'alimentation et de stockage d'énergie, caractérisé en ce que les 20 moyens d'alimentation et de stockage d'énergie sont constitués par une supercapacité, le convertisseur statique d'énergie associé à la machine électrique étant relié à la supercapacité par l'intermédiaire d'un convertisseur courant continu/courant continu réversible.

La présence de ce convertisseur courant continu/courant continu 25 permet de maintenir la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie à une valeur sensiblement constante, tout en pouvant faire varier la tension aux bornes de la supercapacité dans de larges proportions.

L'énergie stockée dans une supercapacité correspond à  $\frac{1}{2} CV^2$  où V est la tension aux bornes de la supercapacité, ceci permet d'exploiter au 30 mieux cette réserve d'énergie.

Ainsi, le dispositif de transmission selon l'invention permet, par une régulation appropriée de la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie, d'utiliser des semi-conducteurs de puissance sous dimensionnés par rapport à ceux qui sont nécessaires pour une machine électrique 5 fonctionnant avec une batterie. Ceci permet de réduire considérablement le coût du convertisseur statique d'énergie.

Par ailleurs, il permet d'utiliser au mieux la capacité de stockage d'énergie de la supercapacité.

Ce convertisseur courant continu/courant continu peut notamment 10 être du type «hacheur réversible» ou encore du type «deux convertisseurs à résonance».

De façon générale, le convertisseur courant continu/courant continu est dimensionné de la façon suivante.

Lorsque l'énergie cinétique du véhicule est récupérée, la puissance 15 transite depuis le convertisseur statique d'énergie vers la supercapacité. Le convertisseur est dimensionné à 10 KW, de façon à récupérer les puissances de décélération qui se produisent lors de l'utilisation du véhicule en ville.

Lorsque l'énergie stockée dans la supercapacité est transmise aux roues, le moteur thermique étant arrêté, la puissance est transmise depuis la 20 supercapacité vers le convertisseur statique d'énergie. Dans ce mode électrique pur, le convertisseur est dimensionné à 2.5 KW pour fournir de la puissance aux roues en vitesse stabilisée, de préférence pour des vitesses inférieures ou égales à environ 30 km/heure.

L'invention va maintenant être décrite de façon plus détaillée en 25 référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 représente un dispositif de transmission de puissance selon l'invention, comportant une machine électrique, un moteur thermique et un convertisseur courant continu/courant continu du type hacheur réversible,

- la figure 2 représente un dispositif de transmission de puissance 30 selon l'invention, comportant deux machines électriques, un moteur

thermique et un convertisseur courant continu/courant continu comprenant deux convertisseurs à résonance et

5 - la figure 3 est un algorithme donnant un exemple de stratégie de commande du moteur thermique, en fonction de la puissance demandée aux roues et de l'énergie stockée dans la supercapacité.

La figure 1 représente donc un exemple de réalisation du dispositif de transmission selon l'invention qui comporte une machine électrique 2 et un moteur thermique 1, la machine électrique et le moteur thermique étant reliés par l'intermédiaire d'un embrayage 3.

10 La machine électrique 2 est reliée aux roues 4 du véhicule, par l'intermédiaire d'une boîte de vitesses 5.

Par ailleurs, un convertisseur statique d'énergie 6 est associé à la machine électrique 2.

15 Les alimentations continues 60 du convertisseur 6 sont reliées à un bus 7 dont les deux lignes portent les références 70 et 71.

Entre les deux lignes du bus, est connecté un condensateur 72 qui assure un petit stockage d'énergie.

Il a une capacité typiquement de 2000  $\mu$ F et contient donc une énergie maximale de 300 J.

20 Ce condensateur a essentiellement une fonction de filtrage des courants haute fréquence générés par l'onduleur.

Les deux lignes 70 et 71 du bus sont reliées entre elles par une supercapacité 8.

25 Pour un véhicule de gamme moyenne, elle a une capacité de typiquement 10 F et contient une énergie maximale d'environ 50 kJ.

Entre le condensateur 72 et la supercapacité 8, un convertisseur courant continu / courant continu 9 est relié entre les deux lignes du bus 7.

Dans l'exemple illustré à la figure 1, le convertisseur 9 est du type "hacheur réversible" avec deux transistors 900 et 901.

30 Ainsi, le procédé selon l'invention va consister à récupérer et à stocker l'énergie cinétique du véhicule dans la supercapacité 8 et à réutiliser

l'énergie stockée pour fournir de la puissance aux roues lorsque la vitesse du véhicule est stabilisée, typiquement à une valeur inférieure ou égale à 30 km/h, le moteur thermique étant alors arrêté pendant de courtes périodes.

Il permet donc de réduire la consommation de carburant en éteignant ponctuellement le moteur thermique, la puissance aux roues étant alors fournie par la supercapacité.

La présence du convertisseur courant continu / courant continu 9 permet de mettre en œuvre la variante du procédé selon l'invention, selon laquelle la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie 6 est régulée pour la maintenir sensiblement constante et proche de la valeur maximale admissible par les semi-conducteurs du convertisseur 6.

Des moyens de régulation agissent donc directement sur le convertisseur 9 pour maintenir la tension  $U$  entre les deux lignes de bus à la valeur maximale souhaitée  $U_{ref}$ .

15 Comme expliqué précédemment, cette valeur peut être constante et correspondre à la tension  $U_2$  dont la valeur est égale à la différence entre la valeur de la tension  $U_1$ , tension de tenue des semi-conducteurs du convertisseur statique 6, et la surtension maximale aux bornes de ces mêmes semi-conducteurs.

20 La régulation peut également être effectuée en prenant comme valeur de référence une tension comprise entre  $U_2$  et une autre valeur limite définie par  $(U_1 - \lambda \cdot I)$ , c'est-à-dire par la différence entre la valeur de la tension  $U_1$  de tenue des semi-conducteurs et la surtension réelle aux bornes des semi-conducteurs.

25 Cette régulation peut également être réalisée sur la base d'une tension de référence correspondant à:

$$U_{ref} = \text{MIN} [ (U_1 - \lambda \cdot I); \text{MAX}(U_2; (U_3/k)) ]$$

Où:  $U_1$ ,  $\lambda \cdot I$  et  $U_2$  sont tels que définis plus haut et

$U_3$  est la tension aux bornes de la machine électrique et

30  $k$  est un coefficient constant dénommé coefficient de MLI.

Ce coefficient est déterminé par le fonctionnement de l'onduleur et sa valeur est typiquement de 0,76.

La présence de ce convertisseur 9 permet également de faire varier la tension aux bornes de la supercapacité 8 dans de larges proportions et 5 donc d'exploiter au mieux cette réserve d'énergie.

Le fait de maintenir à une valeur relativement haute la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie 6 a des conséquences sur le dimensionnement des semi-conducteurs pour les raisons suivantes.

De façon générale, la relation entre la tension  $U_3$  aux bornes de la 10 machine électrique et la tension  $U$  entre les deux lignes de bus est définie par:

$$U_3 < kU, \text{ où } k \text{ est le coefficient de MLI.}$$

Par ailleurs, la tension  $U_3$  aux bornes de la machine électrique est définie par:

$$15 \quad U_3 = n \cdot \varphi \cdot \omega$$

où:  $n$  est le nombre de spires de la machine électrique  
 $\varphi$  est le flux magnétique dans la machine électrique et  
 $\omega$  est le régime de la machine.

Grâce aux moyens de régulation, la tension  $U_3$  aux bornes de la 20 machine est maximisée, puisque la tension  $U$  aux bornes du convertisseur statique 6 est elle-même maximisée.

Donc, pour pouvoir atteindre le régime  $\omega$  souhaité, il faut prévoir un produit  $n \cdot \varphi$  maximal lors du calcul de la machine électrique.

En particulier, il faut augmenter le nombre  $n$  de spires, par rapport à 25 une machine électrique qui fonctionnerait avec une batterie et sans moyen de régulation de la tension.

Or, le couple  $C$  de la machine électrique est égal à:

$$C = n \cdot \varphi \cdot I$$

Où:  $n$  est le nombre de spires de la machine électrique  
30  $\varphi$  est le flux magnétique dans la machine et  
 $I$  est le courant circulant dans la machine.

Ainsi, la machine électrique étant dimensionnée pour que le produit  $n \cdot \varphi$  soit maximal, le couple C souhaité peut être atteint avec un courant I minimal.

Or, le courant I circulant dans la machine électrique circule 5 également dans les semi-conducteurs de puissance de convertisseur statique d'énergie.

Ainsi, en maintenant à une valeur haute la tension U aux bornes du convertisseur statique 6, on peut diminuer le courant I circulant à la fois dans 10 la machine électrique et dans le convertisseur statique d'énergie, grâce à un dimensionnement approprié de la machine électrique.

Le courant I circulant dans les semi-conducteurs de puissance étant relativement faible, le dimensionnement des semi-conducteurs peut être réduit en conséquence. Le coût des semi-conducteurs est alors diminué de façon radicale.

15 On se réfère maintenant à la figure 2 qui décrit un autre mode de réalisation du dispositif de transmission de puissance selon l'invention qui comprend un moteur thermique 10, deux machines électriques 20 et 30, ainsi qu'un convertisseur courant continu / courant continu 90.

20 Le moteur thermique 10 est relié à un train épicycloïdal 40 par l'intermédiaire d'un arbre 100. La puissance générée par le moteur thermique est transmise par l'intermédiaire du train 40, d'une part directement aux roues 4 par l'intermédiaire des arbres 100 et 104 et d'un autre train épicycloïdal 50 et d'autre part, à la machine électrique 20 par l'intermédiaire de l'arbre 102.

25 A la première machine électrique 20 est associé un convertisseur statique d'énergie 21, lequel est relié par l'intermédiaire de ses alimentations continues à un bus 22.

30 La deuxième machine électrique 30 est elle-même associée à un convertisseur statique d'énergie 31 dont les alimentations continues 310 sont également reliées au bus 22, dont les deux lignes portent les références 220 et 221.

La deuxième machine électrique 30 est reliée par l'intermédiaire d'un crabot 32 à l'arbre 103 ou à l'arbre 104.

L'arbre 103 est relié au train épicycloïdal 50, comme les arbres 101 et 104. L'arbre de sortie du train de sortie 50 est relié aux roues 4 du 5 véhicule par l'arbre 104.

Dans ce mode de réalisation, l'une des deux machines électriques 20 et 30 fonctionne généralement en mode générateur, l'autre fonctionnant alors en mode moteur.

Suivant les modes de fonctionnement, la deuxième machine 10 électrique peut être reliée à l'arbre 103 ou à l'arbre 104 par l'intermédiaire du crabot 32.

Entre les deux lignes de bus est relié un condensateur 222 qui a la même fonction que le condensateur 72 décrit en référence à la figure 1.

Les deux lignes du bus 22 alimentent également un convertisseur 15 courant continu / courant continu 90, lui-même constitué de deux convertisseurs à résonance 91 et 92.

Une supercapacité 80 est connectée entre les convertisseurs 91 et 92.

Le convertisseur 91 est capable de prélever de l'énergie sur le bus 20 22 pour la communiquer à la supercapacité 80, tandis que le convertisseur 92 est capable de prélever de l'énergie sur la supercapacité 80 pour la communiquer au bus 22.

Le convertisseur 91 est dimensionné typiquement à 10 kW pour récupérer les puissances de décélération qui ont lieu en ville.

25 Le convertisseur 92 est typiquement dimensionné à 2,5 kW pour fournir la puissance aux roues à une vitesse stabilisée inférieure ou égale à environ 30 km/h.

Ainsi, la présence de la supercapacité 80 permet de récupérer et de stocker l'énergie cinétique du véhicule et de la réutiliser pour fournir de la 30 puissance aux roues lorsque la vitesse du véhicule est stabilisée, le moteur thermique étant alors arrêté.

Par ailleurs, cette variante du dispositif de transmission selon l'invention permet également, grâce à la présence du convertisseur 90, de maintenir la tension aux bornes du bus et donc des convertisseurs statiques d'énergie 21 et 31 sensiblement constante et proche de la valeur maximale 5 admissible par les semi-conducteurs de puissance du convertisseur statique d'énergie, grâce à une régulation appropriée.

Des exemples de régulation mentionnés précédemment sont également applicables pour le dispositif de transmission selon la figure 2.

10 Comme expliqué plus haut, cette régulation permet de minimiser le coût des semi-conducteurs de puissance présents dans les convertisseurs statiques d'énergie 21 et 31.

On se réfère maintenant à la figure 3 qui donne un exemple de stratégie de commande du moteur thermique, en fonction de la puissance demandée aux roues et de l'énergie stockée dans la supercapacité.

15 Il convient tout d'abord de déterminer la puissance demandée aux roues,  $P_{ROUE}$ , notamment en détectant l'enfoncement de la pédale d'accélérateur.

Ceci permet de déterminer la puissance de la chaîne de traction,  $P_{CDT}$ , en fonction du rendement.

20 On compare ensuite la puissance de la chaîne de traction,  $P_{CDT}$ , à la valeur de 3 kW correspondant à la puissance à transmettre aux roues pour une vitesse stabilisée à environ 30 km/h.

25 Si la puissance de la chaîne de traction est supérieure à 3 kW, le véhicule ne fonctionne pas à puissance faible et le moteur thermique assure la propulsion du véhicule.

Si au contraire, la puissance de la chaîne de traction est inférieure à 3 kW, le véhicule fonctionne à puissance faible, et on peut donc envisager de faire intervenir l'énergie stockée dans la supercapacité.

30 Il convient alors de déterminer si la puissance de la chaîne de traction est ou non positive.

Si elle est positive, on compare l'énergie  $E$  stockée dans la supercapacité à une valeur minimale  $E_{MIN}$ .

Si l'énergie stockée dans la supercapacité est inférieure à cette valeur minimale, la supercapacité n'est pas capable de transmettre une puissance suffisante aux roues et le moteur thermique fonctionne normalement.

Si, par contre elle, est supérieure à cette valeur minimale  $E_{MIN}$ , le moteur thermique peut être arrêté. Le couple fourni par le moteur thermique est donc nul, et on utilise l'énergie stockée dans la supercapacité. Dans ce cas, la puissance de la chaîne de traction correspond à la puissance fournie par la supercapacité.

Si la puissance de la chaîne de traction  $P_{CDT}$  est négative, on compare alors l'énergie  $E$  stockée dans la supercapacité à une valeur maximale  $E_{MAX}$ , pour vérifier si la supercapacité est pleine ou non.

Si la valeur  $E$  est supérieure à  $E_{MAX}$ , la supercapacité est pleine et le moteur thermique fonctionne.

Si cette valeur  $E$  est au contraire inférieure à  $E_{MAX}$ , on peut encore stocker de l'énergie dans la supercapacité, le moteur thermique étant arrêté.

Là encore, la puissance de la chaîne de traction correspond à la puissance échangée par la supercapacité, la puissance fournie par le moteur étant nulle.

Les signes de référence insérés après les caractéristiques techniques figurant dans les revendications ont pour seul but de faciliter la compréhension de ces dernières et ne sauraient en limiter la portée.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de transmission de puissance aux roues (4) d'un véhicule automobile comprenant un moteur thermique (1, 10) et au moins une machine électrique (2; 20, 30) associée à un convertisseur statique d'énergie (6; 21, 31) et à des moyens d'alimentation et de stockage d'énergie, le procédé consistant à récupérer et à stocker l'énergie cinétique du véhicule dans des moyens d'alimentation et de stockage constitués par une supercapacité (8, 80) et à réutiliser l'énergie stockée pour fournir de la puissance aux roues lorsque la vitesse du véhicule est stabilisée, le moteur thermique (1, 10) étant alors arrêté.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la vitesse stabilisée à laquelle la puissance fournie aux roues (4) provient de la supercapacité (8, 80) est inférieure ou égale à environ 50 km/h.
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la vitesse stabilisée à laquelle la puissance fournie aux roues (4) provient de la supercapacité (8, 80) est inférieure ou égale à environ 30 km/h.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, consistant également à réguler la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie (6; 21, 31) pour la maintenir sensiblement constante et proche de la valeur maximale admissible par les semi-conducteurs de puissance du convertisseur statique d'énergie.
5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie (6; 21, 31) est maintenue à une valeur de référence  $U_{REF}$ , égale à:  
$$U_{REF} = \text{MIN} [ (U_1 - \lambda \cdot I); \text{MAX}(U_2; (U_3/k)) ]$$
où:  $U_1$  est la tension de tenue des semi-conducteurs de puissance  
 $\lambda \cdot I$  est la surtension aux bornes des semi-conducteurs de puissance,  $I$  étant le courant circulant dans la machine électrique,  
 $U_2$  la différence entre  $U_1$  et la surtension maximale aux bornes des semi-conducteurs,  
 $U_3$  est la tension aux bornes de la machine électrique et

k est un coefficient constant, appelé coefficient de MLI.

6. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie (6; 21, 31) est maintenue entre deux valeurs limites, la première correspondant à  $U_2$  et la deuxième 5 correspondant à  $(U_1 - \lambda \cdot I)$ , où;

$U_1$  est la tension de tenue des semi-conducteurs de puissance,

$\lambda \cdot I$  est la surtension aux bornes des semi-conducteurs de puissance, I étant le courant circulant dans la machine électrique, et

10  $U_2$  est la différence entre  $U_1$  et la surtension maximale aux bornes des semi-conducteurs.

7. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la régulation de la tension aux bornes du convertisseur statique d'énergie (6, 21, 31) consiste à maintenir cette tension à  $U_2$ , c'est-à-dire la différence entre  $U_1$ , tension de tenue des semi-conducteurs de puissance, et la surtension maximale aux bornes des 15 semi-conducteurs.

8. Dispositif de transmission de puissance aux roues (4) d'un véhicule automobile pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 7, comprenant un moteur thermique (1, 10) et au moins une machine électrique (2; 20, 30) associée à un convertisseur statique d'énergie (6; 21, 31) 20 et à des moyens d'alimentation et de stockage d'énergie, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation et de stockage sont constitués par une supercapacité (8, 80), le convertisseur statique d'énergie associé à la machine électrique étant relié à la supercapacité par l'intermédiaire d'un convertisseur courant continu / courant continu réversible (9, 90).

25 9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le convertisseur courant continu / courant continu réversible est du type "hacheur réversible" (9), comprenant deux transistors (900, 901).

10. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le convertisseur courant continu / courant continu réversible comprend deux 30 convertisseurs à résonance (91, 92), entre lesquels est reliée la supercapacité (80).